

# 从温升出发设计低频小功率变压器

## Design small power transformer from temperature rise

广东东莞 冉瑞刚 (东莞 523000)

**摘要:** 本文介绍以温升作为出发点,以漆包铜线为例,设计小功率低频变压器。无论是B值选取或是J值选取都很易掌控,文中给出了常用E1片输出功率与温升对照表、H50铁心单位铁损和磁场强度计算方法,并用了两种方法来计算负载电压与温升可供参考。

**关键词:** 低频变压器, H50铁心, 铁损公式, 磁化公式, 温升

中图分类号: TM4 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517 (2008) 01-07-119

## 1 引言

几乎所有的用电器在正常工作时都会产生损耗,其中大部份损耗均转换成了热能,从而引起自身的温度上升,变压器也一样。这些热量会通过自身的表面积散发出去,并与周围环境进行热交换,最终达到热平衡。

不同绝缘等级的变压器其温升值也有相应的规定。作为小功率工频电源变压器,如何合理利用其原始技术参数,选好铁心、确定铁心磁通密度B值和线包电流密度J值,并将变压器温升控制在一定的范围内,从而降低成本显得尤为重要。当输出功率由允许温升决定时,在计算方法上,从温升出发不失为一种好的方法。

思路是根据变压器总散热面积和温升确定变压器总损耗,再化分为铜损和铁损,进而确定磁通密度、线径、圈数。再进行常规计算。

计算步骤:

- (1) 根据变压器输出功率和温升选铁心。
- (2) 计算变压器总散热面积F。
- (3) 预算变压器总损耗P。
- (4) 预定铁心损耗Pc1和线包损耗Pm1。

- (5) 预算铁心负载磁通密度B~值。
- (6) 预算电压变动率 U%。
- (7) 确定铁心空载磁通密度Bo值。
- (8) 计算初级圈数N1和次级圈数N2。
- (9) 计算初级线径  $d_1$ 和次级线径  $d_2$ 。
- (10) 线圈结构计算。
- (11) 电压计算。
- (12) 电流计算。
- (13) 空载损耗计算。
- (14) 温升计算。
- (15) 优化。

## 2 举例说明:

(1) 技术参数

- 1) 输入电压:  $U_1=220V$
- 2) 输出电压  $U_2=48V \pm 5\%$
- 3) 输出电流  $I_2=1A$
- 4) 工作频率:  $f=50Hz$
- 5) 绝缘等级B
- 6) 温升  $t=80$
- 7) 骨架使用抽屉式
- 8) 环境温度  $z=40$
- 9) 大气压  $D=101.3kPa$

(2) 计算输出功率

$$P_2=U_2 \cdot I_2=48 \cdot 1=48W$$

(3) 选择铁心

1) 当铁心叠厚等于1.5-2倍舌宽时, 成本最低; 2) 当铁心

根据输出功率 $P_2=48W$ , 温升 80 , 查表3, 可选铁心叠厚等于1-2倍舌宽时, 能用小一号的铁心就不要使用大一号的铁心。我们选用EI57/36。

表1 温升  $t = 55$  铁心为H50时输出功率 $P_2$

叠厚/ 舌宽	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
1.0	0.60	2.20	5.50	10.0	16.0	21.0	25.0	36.0	60.0	90.0	132	230	370
1.1	0.76	2.48	6.05	11.3	17.8	22.9	27.5	39.6	65.5	97.0	142	244	387
1.2	0.92	2.76	6.60	12.6	19.6	24.8	30.0	43.2	71.0	104	152	258	404
1.3	1.08	3.04	7.15	13.9	21.4	26.7	32.5	46.8	76.5	111	161	272	421
1.4	1.24	3.32	7.70	15.2	23.2	28.6	35.0	50.4	82.0	118	171	286	438
1.5	1.40	3.60	8.25	16.5	25.0	30.5	37.5	54.0	87.5	125	181	300	455
1.6	1.56	3.88	8.80	17.8	26.8	32.4	40.0	57.6	93.0	132	191	314	472
1.7	1.72	4.16	9.35	19.1	28.6	34.3	42.5	61.2	98.5	139	201	328	489
1.8	1.88	4.44	9.90	20.4	30.4	36.2	45.0	64.8	104	146	210	342	506
1.9	2.04	4.72	10.5	21.7	32.2	38.1	47.5	68.4	110	153	220	356	523
2.0	2.20	5.00	11.0	23.0	34.0	40.0	50.0	72.0	115	160	230	370	540

表2 温升  $t = 65$  铁心为H50时输出功率 $P_2$

叠厚/ 舌宽	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
1.0	--	--	--	12.0	18.0	22.0	28.0	39.0	65.0	100	150	260	430
1.1	--	--	--	13.3	20.0	24.3	30.8	43.1	71.5	109	162	278	457
1.2	--	--	--	14.6	22.0	26.6	33.6	47.2	78.0	118	174	296	484
1.3	--	--	--	15.9	24.0	28.9	36.4	51.3	84.5	127	186	314	511
1.4	--	--	--	17.2	26.0	31.2	39.2	55.4	91.0	136	198	332	538
1.5	--	--	--	18.5	28.0	33.5	42.0	59.5	97.5	145	210	350	565
1.6	--	--	--	19.8	30.0	35.8	44.8	63.6	104	154	222	368	592
1.7	--	--	--	21.1	32.0	38.1	47.6	67.7	111	163	234	386	619
1.8	--	--	--	22.4	34.0	40.4	50.4	71.8	117	172	246	404	646
1.9	--	--	--	23.7	36.0	42.7	53.2	75.9	124	181	258	422	673
2.0	--	--	--	25.0	38.0	45.0	56.0	80.0	130	190	270	440	700

表3 温升  $t = 75$  铁心为H50时输出功率 $P_2$

叠厚/ 舌宽	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
1.0	--	--	--	--	19.0	25.0	30.0	43.0	70.0	110	165	300	480
1.1	--	--	--	--	21.3	27.5	33.0	47.7	77.5	120	180	320	516
1.2	--	--	--	--	23.6	30.0	36.0	52.4	85.0	130	194	340	552
1.3	--	--	--	--	25.9	32.5	39.0	57.1	92.5	140	209	360	588
1.4	--	--	--	--	28.2	35.0	42.0	61.8	100	150	223	380	624
1.5	--	--	--	--	30.5	37.5	45.0	66.5	108	160	238	400	660
1.6	--	--	--	--	32.8	40.0	48.0	71.2	115	170	252	420	696
1.7	--	--	--	--	35.1	42.5	51.0	75.9	123	180	267	440	732
1.8	--	--	--	--	37.4	45.0	54.0	80.6	130	190	281	460	768
1.9	--	--	--	--	39.7	47.5	57.0	85.3	138	200	296	480	804
2.0	--	--	--	--	42.0	50.0	60.0	90.0	145	210	310	500	840

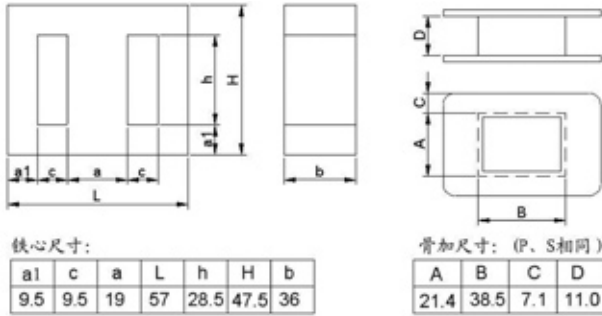


图1：铁心尺寸与骨架尺寸

(4) 铁心重量 见图1。

$$G_c = (L * H - 2 * c * h) * b * K_c / 10^6$$

$$= (57 * 47.5 - 2 * 9.5 * 28.5) * 36 * 7.65 * 0.97 / 10^6$$

$$= 0.579 \text{ kg}$$

(5) 计算铁心散热面积Fc 见图1。

$$F_c = 2b(L+H) / 100 + 4a1(L+h) / 100$$

$$= 2 * 36 * (57 + 47.5) / 100 + 4 * 9.5 * (57 + 28.5) / 100$$

$$= 107.73 \text{ cm}^2$$

(6) 计算线包散热面积Fm 见图1。

$$F_m = (2a + 2c) h_o + 4ac + 2c^2$$

$$= (2 * 19 + 2 * 3.14 * 9.5) * 28.5 + 4 * 19 * 9.5 + 2 * 3.14 * 9.5 * 9.5$$

$$= 40.7 \text{ cm}^2$$

(7) 计算变压器总散热面积F

$$F = F_c + F_m$$

$$= 107.73 + 40.7$$

$$= 148.43 \text{ cm}^2$$

(8) 预算变压器总损耗P

预定变压器平均温升 = 72 (预留8 余量), 查图2, 单位面积损耗Q=0.097 W/cm<sup>2</sup>, 预算变压器总损耗P

$$P = Q * F$$

$$= 0.097 * 148.43$$

$$= 14.4 \text{ W}$$

试算效率 = P2 / (P2 + P) = 48 / (48 + 14.4) = 77% 因功率为48W, 温升较高, 该效率可以接受。

(9) 预定铁心损耗Pc1

当功率在50W左右, 温升较高时, 铁损约占总损耗的1/4左右, 也可以将损耗比进行相应调整, 如果将铁损比例调大会引起空载电流和空载损耗的增加, 反之, 线包损耗会增大。此处取1/4, 则铁损Pc1=1/4 \* P=14.4/4=3.6W。

(10) 预算铁心单位损耗

$$P_{c2} = P_{c1} / G_c$$

$$= 3.6 / 0.579$$

$$= 6.22 \text{ W/kg}$$

(11) 铁心单位损耗和磁场强度的计算方法

当电源频率f=50Hz, B值在1.2-1.8T之间变化时, EI片铁心单位损耗可近似用一次函数Ps=aB+c计算; 磁场强度可近似用二次函数H~=-aB<sup>2</sup>+bB+c计算。

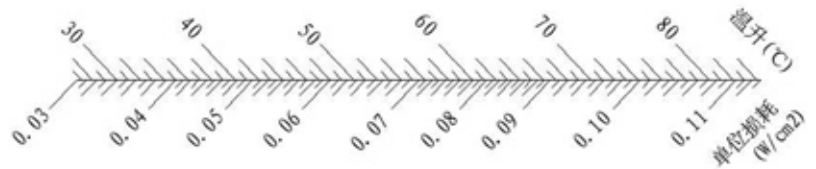


图2：温升曲线。(此温升曲线图原自《电子变压器手册》图7-28, 在计算EI铁心时可做为参考, 但不能做为标准, 因铁心大小的不一样和骨架形式的不一样其散热系数也是不一样的)

表4 H50A单位损耗计算系数表

系数	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
a	9.74	9.43	9.46	7.72	7.52	7.52	7.51	7.51	7.51	7.52	7.52	7.52	7.52
c	-6.87	-6.64	-6.66	-5.43	-5.29	-5.29	-5.28	-5.28	-5.28	-5.29	-5.29	-5.29	-5.29

表5 H50N单位损耗计算系数表

系数	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
a	11.4	11.1	11.1	9.1	8.84	8.85	8.83	8.83	8.83	8.84	8.84	8.84	8.84
c	-8.06	-7.82	-7.82	-6.41	-6.22	-6.23	-6.21	-6.21	-6.21	-6.22	-6.22	-6.22	-6.22

表6 H50A磁场强度计算系数表

系数	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
a	34.9	38.2	62.3	16.4	22.7	22.8	22.8	22.6	22.7	22.7	22.6	22.7	22.6
b	-83.9	-91	-155	-35.9	-56.0	-56.4	-56.3	-55.8	-56.0	-56.0	-55.7	-55.9	-55.8
c	51.9	55.2	97.6	20.3	35.9	36.2	36.1	35.7	35.9	35.9	35.7	35.8	35.7

表7 H50N磁场强度计算系数表

系数	EI 28	EI 35	EI 41	EI 48	EI 54	EI 57	EI 60	EI 66	EI 76.2	EI 85.8	EI 96	EI 114	EI 133.2
a	34.5	22.0	71.2	10.8	11.3	11.3	11.3	11.3	11.4	11.2	11.3	11.4	11.3
b	-84.8	-41.6	-177	-16.4	-20.8	-20.7	-20.7	-20.9	-21.1	-20.6	-20.7	-20.9	-20.7
c	56.3	20.5	112	5.5	10.2	10.1	10.1	10.2	10.4	10.0	10.1	10.3	10.1

(12) 预算铁心负载磁通密度B~值

由于原始技术参数无特殊要求，根据铁心单位损耗 Pc2=6.22W/kg，选择H50N材质，由H50N铁心单位损耗计算公式（查表5）反求磁通密度B~值：

$$Pc2 = aB\sim + c$$

$$B\sim = (Pc2 - c)/a$$

$$= (6.22 + 6.23)/8.85$$

$$= 1.4T$$

(13) 预算电压变动率△U%

实际上变压器电压变动率 U%与铜损有直接的关系，如果忽略铁损电流及无功电流对绕组的影响，铜损占总输出功率的百分比（Pcu%）便约为电压变动率（U%）。当输出功率越大，铁损电流及无功电流占额定电流的百分比便越小，影响也越小，功率在1KW以上时，两者几乎相等。见表8：

表8 Pcu%与 U%的关系

P2 (VA)	<1	<2	<5	<10	<20	<30
系数 K	2.0	1.6	1.5	1.35	1.25	1.2
P2 (VA)	<50	<100	<200	<500	<1000	>1000
系数 K	1.15	1.12	1.10	1.05	1.0	1.0

线包损耗Pm1=P - Pc1=14.4 - 3.6=10.8W

本例P2=48W，取K=1.15，预定电压变动率

$$Uc\% = Pm2/P2 * K$$

$$= 10.8/48 * 1.15$$

$$= 25.8\%$$

(14) 确定铁心空载磁通密度Bo值

$$Bo = B\sim / (1 - Uc\%/2)$$

$$= 1.4 / (1 - 25.8\%/2)$$

$$= 1.6T$$

(15) 计算初级圈数N1

$$N1 = 10000 / (4.44 * f * Bo * Sc) * U1$$

$$= 10000 / (4.44 * 50 * 1.6 * 1.9 * 3.6 * 0.97) * 220$$

$$= 934Ts$$

(16) 计算次级圈数N2

$$N2 = N1 / U1 * U2 * (1 + Uc\%)$$

$$= 934 / 220 * 48 * (1 + 25.8\%)$$

$$= 256Ts$$

(17) 计算线径

1) 确定初次级铜损

设初次级各占一半铜损，则Pmp=Pms=Pm1/2=5.4W。

2) 确定平均匝长

骨架确定后，平均匝长Lm便可以算出，对于抽屉式骨架，

$$Lm = 2a + 2b + c$$

$$= 2 * 19 + 2 * 36 + 3.14 * 9.5$$

$$= 139.8mm$$

3) 预算线长

$$初级线长L1 = Lm * N1 = 139.8 * 934 = 130.5m$$

$$次级线长L2 = Lm * N2 = 139.8 * 256 = 35.8m$$

4) 预算初级电流I1

a 次级反射到初级的电流I2''

$$I2'' = N2 / N1 * I2$$

$$= 256 / 934 * 1$$

$$= 0.274A$$

## b 计算铁损电流和磁化电流

根据表5:  $P_s = aB - +c$

$$= 8.85 * 1.4 - 6.23$$

$$= 6.16W/kg$$

根据表7:  $H = aB^2 + bB + c$

$$= 11.3 * 1.4^2 - 20.7 * 1.4 + 10.1$$

$$= 3.27A/cm$$

铁心磁路长度  $L_c = 2h + 2c + a/2$

$$= 2 * 28.5 + 2 * 9.5 + 3.14 * 19/2$$

$$= 10.6cm$$

铁损电流  $I_c = P_s * G_c / U_1 = 6.16 * 0.579 / 220 = 0.016A$

磁化电流  $I = H * L_c / N_1 = 3.27 * 10.6 / 934 = 0.037A$

初级电流有功分量  $I_1 = I_2 + I_c = 0.274 + 0.016 = 0.29A$

初级电流  $I_1 = (I_1^2 + I_2^2)^{0.5} = (0.292^2 + 0.037^2)^{0.5} = 0.292A$

5) 预算初次级电阻  $R_p$ 、 $R_s$ 

$$72 : R_{p1} = P_{mp} / I_1^2 = 5.4 / (0.292^2) = 63.3$$

$$72 : R_{s1} = P_{ms} / I_2^2 = 5.4 / (1^2) = 5.4$$

$$20 : R_p = P_p / (1 + 0.00393 * 72) = 49.3$$

$$20 : R_s = P_s / (1 + 0.00393 * 72) = 4.2$$

## 6) 预算初次级线径

初级导线截面  $S_{cp} = L_1 * I_1 / R_p = 130.5 * 17.6 / 49.3 = 0.0466mm^2$

次级导线截面  $S_{cs} = L_2 * I_2 / R_s = 35.8 * 17.6 / 4.2 = 0.15mm^2$

初级线径  $d_1 = (S_{cp} / \pi)^{0.5} * 2 = (0.0466 / 3.14)^{0.5} * 2 = 0.24mm$

次级线径  $d_2 = (S_{cs} / \pi)^{0.5} * 2 = (0.15 / 3.14)^{0.5} * 2 = 0.44mm$

7) 上面所计算的线径,是在一定的假定条件上所算出的,实际可以根据供应商线规表及排线情况在一定范围内变动。所以选择2UEW  $d_1 = 0.22$   $d_2 = 0.25$   $d_3 = 0.45$   
 $d_4 = 0.48$

(18) 用窗口面积计算线能否容下

公式:  $dm = (S_w / (K_p * K_d * N))^{0.5}$

$dm$ : 带绝缘导线直径  $S_w$ : 可绕线面积  $K_p$ : 排绕系数  $K_d$ : 叠绕系数  $N$ : 圈数

$S_w = C * D = 7.1 * 11 = 78.1mm^2$  C、D查图1

初级最大带绝缘导线直径:  $dm_1 = (78.1 / (1.05 * 1.1 * 934))^{0.5} = 0.269mm$

次级最大带绝缘导线直径:  $dm_2 = (78.1 / (1.05 * 1.1 * 256))^{0.5} = 0.514mm$

$dm_1 > d_1$   $dm_2 > d_2$  可以绕下。

表9: 无层间绝缘时  $K_p$ 、 $K_d$ 

导线直径	0.05-0.1	0.11-0.15	0.16-0.95	>1.0
排绕系数 $K_p$	1.15	1.1	1.05	1.05
叠绕系数 $K_d$	1.15	1.1	1.1	1.05

## (19) 线圈结构计算

骨架图见图1

初级绕组:

每层匝数  $m_1 = D / (d_1 * K_p) = 11 / (0.25 * 1.05) = 41Ts$

需绕层数  $s_1 = N_1 / m_1 = 934 / 41 = 23L$

绕组厚度  $l_1 = s_1 * d_1 * K_d = 23 * 0.25 * 1.1 = 6.33mm$

平均匝长  $L_{m1} = 2A + 2B + l_1 = 2 * 21.4 + 2 * 38.5 + 3.14 * 6.3$

$3 = 139.7mm$

线长  $L_1 = L_{m1} * N_1 = 139.7 * 934 = 130m$

线重  $G_1 = V * \rho = 3.14 * (0.22/2)^2 * 130 * 8.9 = 44g$

20 电阻  $R_{11} = L_1 * \rho / S_{c1} = 130 * 17.6 / (3.14 * 0.11 * 0.11) = 60$

72 电阻  $R_1 = R_{11} * (1 + 0.00393 * 72) = 77$

次级绕组:

每层匝数  $m_2 = D / (d_2 * K_p) = 11 / (0.48 * 1.05) = 22Ts$

需绕层数  $s_2 = N_2 / m_2 = 256 / 22 = 12L$

绕组厚度  $l_2 = s_2 * d_2 * K_d = 12 * 0.48 * 1.1 = 6.4mm$

平均匝长  $L_{m2} = 2A + 2B + l_2 = 2 * 21.4 + 2 * 38.5 + 3.14 * 6.4$

$= 139.9mm$

线长  $L_2 = L_{m2} * N_2 = 139.9 * 256 = 35.8m$

线重  $G_2 = V * \rho = 3.14 * (0.45/2)^2 * 35.8 * 8.9 = 50.6g$

20 电阻  $R_{22} = L_2 * \rho / S_{c2} = 35.8 * 17.6 / (3.14 * 0.225 * 0.225) = 3.964$

72 电阻  $R_2 = R_{22} * (1 + 0.00393 * 72) = 5.09$

## (20) 电压计算

方法1: 从电压转换出发计算负载电压

1) 次级空载电压  $U_{20}$

$U_{20} = U_1 / N_1 * N_2 = 220 / 934 * 256 = 60.3V$

2) 初级感应电压  $E_1$

$E_1 = U_1 - I_1 * R_1 = 220 - 0.292 * 77 = 197.5V$

3) 次级感应电压  $E_2$

$E_2 = E_1 / N_1 * N_2 = 197.5 / 934 * 256 = 54.1V$

4) 次级负载电压  $U_2$

$U_2 = E_2 - I_2 * R_2 = 54.1 - 1 * 5.09 = 49.0V$

5) 次级电压偏差范围

$$U\%=(48-49)/48=2.1\%$$

U2符合要求

6) 核算电压调整率 U%

$$U\%=(U_{20}-U_2)/U_{20}=(60.3-49)/60.3=18.74\%$$

方法2: 从电阻转换出发计算负载电压

1) 初级转加给次级的电阻R2o

$$R_{2o}=R_1/N_1^2 \cdot N_2^2=77/934^2/256^2=5.78$$

2) 计算次级总电阻Rso

$$R_{so}=R_2+R_{2o}=5.09+5.78=10.87$$

3) 次级负载电压U2

$$U_2=U_{20}-I_2 \cdot R_{so}=60.3-1 \cdot 10.87=49.43V$$

相比之下,方法2较简单一点,但未将初级铁损电流和无功电流计算在内,所以当功率小时不宜采用。

(21) 电流计算

1) 计算空载电流Io

根据表5:  $P_{co} = aB_o + c$

$$= 8.85 \cdot 1.6 - 6.23$$

$$= 7.93W/kg$$

根据表7:  $H_o \sim = aB_o^2 + bB_o + c$

$$= 11.3 \cdot 1.6^2 - 20.7 \cdot 1.6 + 10.1$$

$$= 5.91A/cm$$

铁心磁路长度Lc=10.6cm

铁损电流Ico=Pco\*Gc/U1=7.93\*0.579/220=0.021A

磁化电流I o=Ho- \*Lc/N1=5.91\*10.6/934=0.067A

空载电流Io=(Ico<sup>2</sup>+I o<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>=(0.021<sup>2</sup>+0.067<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>=70mA

2) 核算负载电流I1

次级反射到初级的电流I2 " =0.274A

计算负载磁密度B-

$$B- = B_o \cdot (1- U\%/2)$$

$$= 1.6 \cdot (1- 18.74\%/2)$$

$$= 1.45T$$

计算铁损电流和磁化电流

根据表5:  $P_s = aB- + c$

$$= 8.85 \cdot 1.45 - 6.23$$

$$= 6.6W/kg$$

根据表7:  $H- = aB-^2 + bB- + c$

$$= 11.3 \cdot 1.45^2 - 20.7 \cdot 1.45 + 10.1$$

$$= 3.84A/cm$$

铁损电流Ic=Ps\*Gc/U1=6.6\*0.579/220=0.017A

磁化电流I =H- \*Lc/N1=3.84\*10.6/934=0.044A

初级电流有功分量I1 " =I2 " +Ic=0.274+0.017=0.29A

初级电流I1=(I1 " <sup>2</sup>+I <sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>=(0.29<sup>2</sup>+0.044<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>=0.293A

(22) 计算空载损耗

$$P_o=P_{co} \cdot G_c + I_o^2 \cdot R_{11}=7.93 \cdot 0.579 + 0.07^2 \cdot 60=4.9W$$

(23) 温升计算

方法1: 从热平衡出发

1) 计算铜损

$$P_m=I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2=0.293^2 \cdot 77 + 1 \cdot 5.09=11.7W$$

2) 计算铁损

$$P_c= P_s \cdot G_c =6.6 \cdot 0.579=3.82W$$

3) 计算初始温升比 m/ c

$$= F_c / F_m=107.73/40.7=2.65$$

$$m/ c=1.5 \quad P_m/P_c=1.5 \cdot 2.65 \cdot 11.7/3.82=12.17$$

4) 计算热平衡系数k

$$k=1.414 \cdot (1/(1+1/12.17))^{0.5}=1.36$$

5) 计算修正前温升值(amo查表10)

$$m_o=(P_c+P_m)/(a_m o F_m(1+1.5 /k))$$

$$=(3.82+11.7)/(1.15/1000 \cdot 40.7 \cdot (1+1.5 \cdot 2.65/1.36))$$

$$=84.5$$

6) 计算平均温升 m和 C

当环境温度 z在20-65度之间变化时, kz可用如下公式概算

$$K_z=0.004 z+0.9=0.004 \cdot 40+0.9=1.06$$

当大气压D在70-130kPa之间变化时, kd可用如下公式概算

$$K_d=0.003D+0.7=0.003 \cdot 101.3+0.7=1.0$$

$$M= m_o/(k_z \cdot k_d)=84.5/(1.06 \cdot 1)=79.7$$

当M在10-100 之间变化时, km可用如下公式概算

$$k_m=(-0.37 \cdot M^2+76 \cdot M+7130)/10^4$$

$$=(-0.37 \cdot 79.7^2+76 \cdot 79.7+7030)/10^4$$

$$=1.074$$

平均温升 m=M\_o/k\_m=79.7/1.074=74.2

$$c= m/k=74.2/1.36=54.6$$

表10: 散热系数amo

EI	28	35	41	48	54	57	60
amo	1.38	1.30	1.30	1.25	1.2	1.15	1.15
EI	66	76.2	85.8	96	114	133.2	
amo	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.80	

方法2: 从单位损耗出发

1) 计算总损耗P

$$P=P_c+P_m=3.82+11.7=15.52W$$

2) 单位面积损耗Q

$$Q=P/F=15.52/148.43=0.1\text{ W/cm}^2$$

3) 变压器平均温升

由Q查图2得  $\Delta T=74$

显然, 方法2较简单, 但只能做为参考。

(24) 优化

由于上面所计算的参数有的是在一定的假定条件上所算出的, 实际还需要进一步调整。现问题点: 空载电流  $I_0$  偏大; 负载电压  $U_2$  未到中心值;

用同样的计算方法, 可以做以下两种更改:

a. 铁心材质不变, P: 0.22 970Ts; S: 0.45 260Ts;

$$I_0=58\text{mA } U_2=48\text{V } m=73 \quad c=54$$

b. 铁心材质使用退火片H50A, P: 0.22 961Ts; S: 0.45 256Ts;

$$I_0=43\text{mA } U_2=48\text{V } m=70 \quad c=51$$

考虑空载电流  $I_0$ , 选取退火片H50A较好。

(25) 备注

由于计算量较大, 文中各表格数据未一一核算及实验, 仅供参考使用。

参考文献

《电子变压器手册》 辽宁科学技术出版社

## 上接118页

在我们的考虑中, 与一个恒定电流打交道, 该电流可认为是  $I_{PMAX}$ 。所以, 我们既可以为  $N_p$  (尽可能覆盖磁心表面) 指定一个值并计算出  $l_M$ , 然后再计算出磁心尺寸  $D_{MED}$ ; 又可选择一磁心并导出合适的  $N_p$ 。与  $\mu_R$  一样,  $B_{SAT}$  也可在磁心数据手册中查到。

我们不关心磁心的截面积。所以, 我们可利用任何厚度的磁心, 我们只关心磁心直径。

在描述电流变压器工作关系的公式:  $I_p \times N_p = I_L \times N_s$  中, 有一个悖论。

其中,  $N_s$  是次级绕组的匝数。  $I_p$  是固定的, 所以, 次级侧的负载电流也是固定的:

$$I_L = I_p \times (N_p / N_s) \quad (6)$$

它意味着, 若减少次级绕组的匝数, 我们可得到更大的次级电流。也即, 若我们必须以高一半电流等级的产品替换次级侧的电珠 (Electric Bulb), 我们应从次级绕组中减去几匝。

另外, 若我们用该变压器提供某些电路原理图 (Electronic Schematic) 布置, 我们应了解其消耗的电流  $I_L$  并在次级侧绕上适当的匝数, 它可由公式7得出。当发生过压或次级感应电压高于允许值时, 一个合理的稳压二极管应能保护该原理图免于过压。

所以, 在给定  $N_p$  时, 利用公式5, 我们可容易地得到

磁心大小, 或确定在具有中线长度  $l_M$  的给定磁心上将缠绕多少匝的初级绕组  $N_p$ 。例如, 若电流源为负载产生1.2A的  $I_p$ , 而我们必须点亮1.7A的白炽灯, 则需安排重新设计一个新的变压器。

$$N_p = (B_{SAT} / \mu_R \times \mu_0) \times l_M / I_{PMAX} = 0.28 / (4 \times 10^{-7} \times 3000) \times 29.5 \times 10^{-3} / 1.2 = 5.736 \text{ (匝)}$$

首先, 我们应得到一个适合该应用的磁心。设其为一个  $36 \times 23 \times 8\text{mm}$  的环形磁心, 其  $D_{MED} = 29.5\text{mm}$ 。假定该磁心的相对渗透率是3,000, 且  $B_{SAT} = 0.28\text{T}$ 。我们知道,  $l_M = \pi \times D_{MED}$ 。所以从公式5, 我们可容易地确定初级侧可允许的匝数  $N_p$ 。因此,

$$N_p = (B_{SAT} / \mu_R \times \mu_0) \times l_M / I_{PMAX} = 0.28 / (4 \times 10^{-7} \times 3000) \times 29.5 \times 10^{-3} / 1.2 = 5.736 \text{ (匝)}$$

假定  $N_p = 6$  匝, 因选取的磁通密度饱和值远低于最大值, 也即存在一个安全余裕, 所以该  $N_p$  值一般是安全的。

利用公式6, 可容易地确定次级绕组的匝数为4.235圈, 所以, 次级绕组的匝数是4。假定能量传输中可能出现的损失, 我们可确认该值与设计吻合的非常好。

显然, 在次级电流应低于初级电流的情况, 次级侧的匝数应高于初级侧的匝数。这就是为什么旨在进行大电流测量的电流变压器在次级侧绕很多圈的原因。